

PAT-NO: JP407099111A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 07099111 A

TITLE: CURRENT LEAD USING OXIDE
SUPERCONDUCTOR

PUBN-DATE: April 11, 1995

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

TAKITA, KIYOSHI

BONO, TAKAAKI

UEDA, KAZUO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

FUJI ELECTRIC CO LTD

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP05220871

APPL-DATE: September 6, 1993

INT-CL (IPC): H01F006/00, H01F006/04, H01F006/06,
H01L039/00

ABSTRACT:

PURPOSE: To prevent the mechanical and thermal damage of a bar-shaped oxide superconductor by improving the structure of a lead on low temperature side.

CONSTITUTION: In a current lead, which consists of the series-connected body composed of the lead 2 on the high temperature side consisting of a well

conductive metal and the lead 15 on the low temperature side consisting of an oxide superconductor and is cooled with refrigerant gas GHe at low temperature, the lead 15 on low temperature side consists of the series-connected body composed of the bar-shaped oxide superconductor 18 conductively coupled between a middle coupling metal fitting 6 and a lower coupling metal fitting 20 and the flexible conductor 21 conductively coupled between a low coupling metal fitting and a low-temperature terminal metal fitting 19, and it is accommodated in the tubular container 17 for coupling the middle coupling metal fitting and the low-temperature terminal metal fitting.

COPYRIGHT: (C) 1995, JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-99111

(43) 公開日 平成7年(1995)4月11日

(51) Int. Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 F 6/00

Z A A

6/04

Z A A

6/06

Z A A

H 0 1 F 7/22

Z A A J

Z A A G

審査請求 未請求 請求項の数12 OL (全10頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平5-220871

(22) 出願日 平成5年(1993)9月6日

(31) 優先権主張番号 特願平4-242427

(32) 優先日 平4(1992)9月11日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平5-93432

(32) 優先日 平5(1993)4月21日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(72) 発明者 滝田 清

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 坊野 敬昭

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 植田 和雄

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

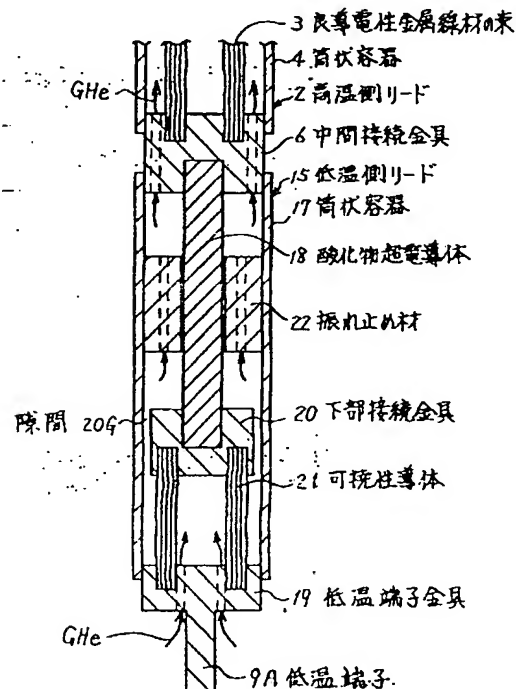
(74) 代理人 弁理士 山口 巖

(54) 【発明の名称】 酸化物超電導体を用いた電流リード

(57) 【要約】

【目的】 低温側リードの構造を改善することにより、棒状の酸化物超電導体の機械的、熱的損傷を防止することにある。

【構成】 良導電性金属からなる高温側リード2と、酸化物超電導体からなる低温側リード15との直列接続体からなり、低温の冷媒ガスGHeで冷却される電流リードにおいて、低温側リード15が、中間接続金具6及び下部接続金具20間に導電結合された棒状の酸化物超電導体18と、下部接続金具と低温端子金具19との間に導電結合された可撓性導体21との直列接続体からなり、中間接続金具と低温端子金具とを連結する筒状容器17内に収納されてなるものとする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】真空断熱容器に収納されて極低温に保持された超電導コイルに外部電源からの励磁電流を流通する電流リードが、良導電性金属からなる高温側リードと、酸化物超電導体からなる低温側リードとの直列接続体からなり、低温の冷媒ガスで冷却されるものにおいて、前記低温側リードが、中間接続金具及び下部接続金具間に導電結合された棒状の酸化物超電導体と、前記下部接続金具と低温端子金具との間に導電結合された可撓性導体との直列接続体からなり、前記中間接続金具と低温端子金具とを連結する筒状容器内に収納されてなることを特徴とする酸化物超電導体を用いた電流リード。

【請求項2】可撓性導体が、良導電性金属編組材の束又は良導電性金属箔材の束からなることを特徴とする請求項1記載の酸化物超電導体を用いた電流リード。

【請求項3】可撓性導体が、金属系超電導線材の束からなることを特徴とする請求項1記載の酸化物超電導体を用いた電流リード。

【請求項4】可撓性導体が、酸化物超電導線材又は酸化物超電導リボン材の束からなることを特徴とする請求項1記載の酸化物超電導体を用いた電流リード。

【請求項5】下部接続金具が筒状容器の内壁面との間に隙間を保持するとともに、棒状の酸化物超電導体の周囲に振れ止め材を配してなることを特徴とする請求項1記載の酸化物超電導体を用いた電流リード。

【請求項6】真空断熱容器に収納されて極低温に保持された超電導コイルに外部電源からの励磁電流を流通する電流リードが、良導電性金属からなる高温側リードと、酸化物超電導体からなる低温側リードとの直列接続体からなり、低温の冷媒ガスで冷却されるものにおいて、前記低温側リードが、中間接続金具及び低温端子金具間に導電結合された複数の酸化物超電導体と、この複数の酸化物超電導体に係合する凹溝を外周側に有する中間支持体とを備え、前記中間接続金具と低温端子金具とを連結する筒状容器内に収納されてなることを特徴とする酸化物超電導体を用いた電流リード。

【請求項7】中間支持体が低熱伝導体からなり、中間接続金具と下部接続金具との中間に位置するよう中間接続金具に連結支持されてなることを特徴とする請求項6記載の超電導装置の電流リード。

【請求項8】中間支持体と酸化物超電導体とが、接着剤層により凹溝内で相互に結合されてなることを特徴とする請求項6記載の酸化物超電導体を用いた電流リード。

【請求項9】中間支持体の複数の凹溝と、これに係合する酸化物超電導体とが、この部分を外側から緊縛する緊縛線材により相互に一体化してなることを特徴とする酸化物超電導体を用いた電流リード。

【請求項10】真空断熱容器に収納されて極低温に保持された超電導コイルに外部電源からの励磁電流を流通する電流リードが、良導電性金属からなる高温側リード

と、複数本の棒状の酸化物超電導体からなる低温側リードと、高温側リードと低温側リードとを導電結合した中間接続金具と、超電導コイルに接続された低温端子が設けられ低温側リードに導電結合された低温端子金具とからなり、それぞれの酸化物超電導体が、中間接続金具と低温端子金具とにそれぞれ接続片を介して接続されてなるものにおいて、中間接続金具に取付けられる接続片と低温端子金具に取付けられる接続片との間に橋渡しされた連結材が設けられてなることを特徴とする酸化物超電導体を用いた電流リード。

【請求項11】連結材が、酸化物超電導体と同軸の筒状をした連結筒であることを特徴とする請求項10記載の酸化物超電導体を用いた電流リード。

【請求項12】連結材が、酸化物超電導体の周りに配置された所定の本数の棒状をした連結棒であることを特徴とする請求項10記載の酸化物超電導体を用いた電流リード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、真空断熱容器に収納された超電導コイルに外部電源からの直流励磁電流を供給する電流リード、ことに低温側リードに酸化物超電導体を用いた電流リードの機械的保護構造に関する。

【0002】

【従来の技術】超電導磁石装置の超電導コイルは液体ヘリウムなどの極低温冷媒により冷却されて超電導状態を保持するので、液体窒素を用いた輻射シールドや多層断熱層を持った真空断熱容器に液体ヘリウムに浸漬した状態で収納される。また、電流リードは液体ヘリウムが気化した低温のヘリウムガスにより冷却され、常温側からの侵入熱及び電流リードで発生するジュール熱が極低温部に侵入するのを阻止するよう構成される。従来の電流リードには導体として銅などの電気良導体を用いていたが、銅は良導電体であると同時に良熱伝導体でもあるため極低温部への侵入熱が増し、高価な液体ヘリウムの気化損失が大きくなる。そこで、電流リードの低温側に高温超電導体である酸化物超電導体を用い、ジュール熱を零にすると同時にその低熱伝導性を利用して極低温部への侵入熱を大幅に低減した電流リードが知られている。

【0003】図9は超電導磁石装置の電流リードの従来構造を簡略化して示す側面図、図10は図9の要部の内部構造を示す拡大断面図である。図において、超電導コイル10は図示しない真空断熱容器内に液体ヘリウムHeに浸漬した状態で収納され、リード線10Aにより電流リード1の低温端子9Aに導電接続される。電流リード1は上部に常温端子2Aがある高温側リード2と低温端子9Aがある低温側リード5の直列接続体として構成され、低温のヘリウムガスGHeがリード内を通過して常温端子2A側に抜けることにより冷却される。高温側リード2は図10にその一部を示すように、筒状容器4の

3

内部に下端部が中間接続金具6に導電結合された導体3として、銅又は銅合金などの良導電性金属線材の束を収納し、その隙間に形成された冷却通路を低温のヘリウムガスGHeが流れることにより発生するジュール熱の排熱が行われる。

【0004】また、低温側リード5は、低熱伝導性金属又は絶縁材からなる筒状容器7の内部に、例えばイットリウム系、ビスマス系などからなる棒状の酸化超電導体8を、その上端部を中間接続金具6に導電結合し、下端部を低温端子金具9に導電結合した状態で収納し、筒状容器7との間に低温のヘリウムガスGHeによる冷却通路を形成し、酸化超電導体8の温度を液体窒素温度(約77K)以下に冷却することにより、酸化超電導体8は超電導状態となってジュール熱が零となり、かつ低温端子9A側への侵入熱が少なく液体ヘリウムHeの消費量が少ない超電導磁石装置の電流リード1が得られる。

【0005】さらに、低温側リード5の組立作業は、中間接続金具6の凹所に棒状の酸化超電導体8の端部を挿入した状態で半田などによる導電結合を行い、次いで酸化超電導体8の他方端に低温端子金具9の凹所をはめ込んで半田などによる導電結合を行い、しかる後筒状容器7を低温端子金具9側から挿入してその両端を中間接続金具6及び低温端子金具9の外周面に固定する手順で行われ、酸化超電導体8の両端を一对の金具を介して筒状容器7に固定することにより、外力に耐える剛性の高い低温側リード5を持った電流リード1が形成される。

【0006】図11は複数本の酸化超電導体が使用された電流リードの要部断面図であり、図10と同じ部材については共通の符号を、同じ機能の部材については10の桁に5を追加した符号をそれぞれ付けて重複する説明を省く。この図において、中間接続金具56と低温端子金具59にはそれぞれ対向する側に突出部61、91が設けられており、これにボルトで取付けられた接続片62、92を介して棒状の酸化超電導体58が取付けられている。このような構成を採用することによって、酸化超電導体58の中間接続金具56、低温端子金具59への取付けは単に接続片62、92を突出部61、91にボルトで取付けるだけの簡単な作業になる。

【0007】図12は図11のD-D断面図であり、筒状容器7の図示は省略してあり、中間接続金具56、突出部61及び接続片62は矢印の方向から見た矢視図でもある。この図において、突出部61は正方形の断面をしていてそれぞれの片に接続片62が取付けられ、それぞれの接続片62に酸化超電導体58が取付けられており、結局酸化超電導体58は4本の棒状の酸化超電導体からなっている。1本の酸化超電導体58の電流容量が図10の酸化超電導体8と同じであるとすれば、この低温側リード55は図10の低温側リード5の

4

4倍の電流容量を持つことになる。酸化超電導体58と接続片62とは半田付けで導電結合される。その際、結合部の抵抗を小さくするために、酸化超電導体58の半田付けされる部分に銀を蒸着するか銀箔を張り付けるかなどの構成が採用される。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、棒状の酸化超電導体8、58の両端を筒状容器に強固に固定した従来の低温側リード5、55においては、酸化超電導体8、58に機械的歪み加わった状態で組立加工を終了することが多い。ところが、酸化超電導体8、58は焼成材であるため機械的にもろく、かつ高い寸法精度を期待できないという性質が有るため、低温側リード5、55の組立加工時に酸化超電導体8、58に加わる機械的応力や歪みによって微小なクラックが発生することがあり、さらに組立終了後電流リード1を冷却した際に構成材料の熱収縮差により発生する熱応力が、微小クラックに集中して機械的弱点部を形成するため、ときには酸化超電導体8、58が破損するという問題が発生する。また、酸化超電導体の破損が電流リードの組立作業終了後に発見された場合には、低温側リード5、58又は電流リード1全体を分解し、新たな酸化超電導体に交換する大掛かりな分解修理が必要であり、多大な経済的損失を招くばかりか、この間電流リードを使用できないという不都合が発生する。

【0009】一方、超電導コイル10の両端子に接続される一对の電流リードが互いに平行して配置されるような場合、励磁電流のオンオフに伴う電流磁界の変化によって大きな電磁機械力が酸化超電導体8、58に作用する。このような場合、両端が固定された酸化超電導体8、58に過大な曲げ応力が加わり、機械的に脆い酸化超電導体が破損するという問題が発生する。

【0010】この発明の目的は、低温側リードの構造改善により、酸化超電導体の機械的安定性、熱的安定性、又は耐電磁機械力性を強化することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、この発明によれば、真空断熱容器に収納されて極低温に保持された超電導コイルに外部電源からの励磁電流を流通する電流リードが、良導電性金属からなる高温側リードと、酸化超電導体からなる低温側リードとの直列接続体からなり、低温の冷媒ガスで冷却されるものにおいて、前記低温側リードが、中間接続金具及び下部接続金具間に導電結合された棒状の酸化超電導体と、前記下部接続金具と低温端子金具との間に導電結合された可撓性導体との直列接続体からなり、前記中間接続金具と低温端子金具とを連結する筒状容器内に収納してなるものとする。

【0012】また、可撓性導体が、良導電性金属編組材の束又は良導電性金属箔材の束、金属系超電導線材の

5

束、あるいは酸化物超電導線材又は酸化物超電導リボン材の束のいずれかで構成されてなるものとする。更に、下部接続金具が筒状容器の内壁面との間に隙間を保持するとともに、棒状の酸化物超電導体の周囲に振れ止め材を配してなるものとする。

【0013】一方、真空断熱容器に収納されて極低温に保持された超電導コイルに外部電源からの励磁電流を流通する電流リードが、良導電性金属からなる高温側リードと、酸化物超電導体からなる低温側リードとの直列接続体からなり、低温の冷媒ガスで冷却されるものにおいて、前記低温側リードが、中間接続金具及び低温端子金具間に導電結合された複数の酸化物超電導体と、この複数の酸化物超電導体に係合する凹溝を外周側に有する中間支持体とを備え、前記中間接続金具と低温端子金具とを連結する筒状容器内に収納されてなるものとする。

【0014】また、中間支持体が低熱伝導体からなり、中間接続金具と下部接続金具との間に位置するよう中間接続金具に連結支持されてなるものとする。更に、中間支持体と酸化物超電導体とが、接着剤層により凹溝内で相互に結合されてなるものとする。更にまた、中間支持体の複数の凹溝とこれに係合する酸化物超電導体とが、この部分を外側から緊縛する緊縛線材により相互に一体化してなるものとする。

【0015】また、真空断熱容器に収納されて極低温に保持された超電導コイルに外部電源からの励磁電流を流通する電流リードが、良導電性金属からなる高温側リードと、複数の棒状の酸化物超電導体からなる低温側リードと、高温側リードと低温側リードとを導電結合する中間接続金具と、超電導コイルに接続される低温端子が設けられ低温側リードに導電結合された低温端子金具とからなり、それぞれの酸化物超電導体が、中間接続金具と低温端子金具とにそれぞれ接続片を介して接続されてなるものにおいて、中間接続金具に取付けられる接続片と低温端子金具に取付けられる接続片との間に橋渡しされた連結材が設けられてなるものとする。

【0016】また、連結材が、酸化物超電導体と同軸の筒状の連結筒、又は酸化物超電導体の周りに配置された所定の本数の棒状の連結棒であるものとする。

【0017】

【作用】この発明の構成において、低温側リードを、中間接続金具及び下部接続金具間に導電結合された棒状の酸化物超電導体と、下部接続金具と低温端子金具との間に導電結合された可撓性導体との直列接続体として、中間接続金具と低温端子金具とを連結する筒状容器内に収納するよう構成したことにより、棒状の酸化物超電導体の下端部が結合した下部接続金具の拘束を柔軟な可撓性導体によって開放する機能が得られる。従って、低温側リードの組立作業時に棒状の酸化物超電導体に作用する機械的ストレス、及び部材の熱収縮差により棒状の酸化物超電導体に加わる熱応力を緩和し、その損傷を防止す

6

ることが可能となり、機械的、熱的弱点部が排除されて信頼性の高い電流リードが得られる。

【0018】また、棒状の酸化物超電導体の低温側側に直列に良導電性金属製の可撓性導体を設けるよう構成すれば、良好な可撓性が得られるとともに、常温側側からの侵入熱を棒状の酸化物超電導体により遮断し、可撓性導体を設けたことにより増加するジュール熱を最小限に抑制する機能が得られる。一方、可撓性導体を金属系超電導線材の束で構成すれば、低温端子を液体ヘリウムで直接冷却することにより可撓性導体は超電導状態となるので、可撓性導体におけるジュール熱を排除し、液体ヘリウムの消費量を一層低減する機能が得られる。また、可撓性導体を酸化物超電導線材又は酸化物超電導リボン材の束で構成すれば、低温側リードが液体窒素温度で超電導状態を示して液体ヘリウムの消費量を大幅に低減し、且つ低温側リードの機械的、熱的安定性を向上する機能が得られる。

【0019】さらに、下部接続金具と筒状容器の内壁面との間に隙間を設けるとともに、棒状の酸化物超電導体の周囲に振れ止め材を配するよう構成すれば、棒状の酸化物超電導体の下端部の拘束を一層効果的に開放して棒状の酸化物超電導体の損傷を防止できるとともに、電流リードの振動や輸送中横倒しすることにより棒状の酸化物超電導体に加わる機械的ストレスを振れ止め材が緩和するので、電流リードの信頼性を一層向上する機能が得られる。

【0020】一方、互いに平行する電流リード間の電流磁界によって酸化物超電導体が電磁機械力を受けると予想される場合、低温側リードが、中間接続金具及び低温端子金具間に導電結合された複数の酸化物超電導体と、この複数の酸化物超電導体に係合する凹溝を外周側に有する中間支持体と、中間接続金具と低温端子金具とを連結する筒状容器とを備えるよう構成すれば、酸化物超電導体を複数分割してその導体断面積を縮小することにより、酸化物超電導体の焼成時に生ずる寸法誤差が減るので、電流リードの組み立て時に酸化物超電導体の両端を拘束することによって酸化物超電導体に加わる歪みを低減してその損傷を防止する機能が得られる。

【0021】また、中間支持体に低熱伝導体を用い、中間接続金具と低温端子金具との間に位置するよう中間接続金具に連結支持するよう構成すれば、酸化物超電導体を中間支持体に支承した状態で酸化物超電導体の両端を金具に半田付けする作業が行えるため、作業中に酸化物超電導体を損傷するトラブルを防止する機能が得られる。

【0022】さらに、中間支持体と酸化物超電導体を凹溝内で接着剤層により相互に結合するか、あるいは外側から緊縛する緊縛線材により中間支持体と酸化物超電導体を相互に一体化するよう構成すれば、分割した酸化物超電導体間に同じ方向に流れる電流によって酸化物超電

7

導体相互間に作用する電磁吸引力は中間支持体の径方向の圧縮力として吸収され、並行した電流リード間に作用する電磁反発力は中間支持体及び中間接続金具を介して筒状容器に伝達吸収されて酸化物超電導体に作用する曲げ応力を大幅に低減するので、電磁機械力による酸化物超電導体の損傷を防止する機能が得られる。

【0023】また、棒状の酸化物超電導体がその両端に取付けられた接続片を介して中間接続金具と低温端子金具とにそれぞれ取付けられる構成が採用された電流リードにおいて、中間接続金具に取付ける接続片と低温端子金具に取付ける接続片との間を橋渡しする連結材を設けることによって、電流リードに外力が加わったときに連結材が力を負担して酸化物超電導体にかかる応力が低減

する機能が得られる。また、連結材は、酸化物超電導体と同軸の筒状の連結筒、又は酸化物超電導体の周りに配置された所定の本数の棒状の連結棒のいずれでもよい。

【0024】以下、この発明を実施例に基づいて説明する。

【実施例】以下、この発明の実施例になる酸化物超電導体を用いた電流リードの要部を示す断面図であり、従来技術と同じ構成部分には同一参照符号を付すことにより、重複した説明を省略する。図において、高温側リード2に中間接続金具6を介して連結された低温側リード15は、上端部が中間接続金具6に、下端部が下部接続金具20にそれぞれ導電結合された棒状の酸化物超電導体18と、下部接続金具20及び低温端子金具19に上下端が導電接続された可撓性導体21と、中間接続金具6及び低温端子金具19とに上下端が連結されて酸化物超電導体18及び可撓性導体21を収納する筒状容器17とで構成される。

【0025】また、可撓性導体21は、良導電性金属編組材又は良導電性金属箔材の束、金属系超電導線材の束、あるいは酸化物超電導線材又は酸化物超電導リボン材の束のいずれかで構成される。さらに、下部接続金具20と筒状容器17の内壁面との間には隙間20Gを設けるとともに、酸化物超電導体18の周囲には例えば繊維強化プラスチック材などからなる振れ止め材22を配置し、低温端子金具19、振れ止め材22、中間接続金具6をそれぞれ貫通して筒状容器内を高温側リード側に向けて流れる低温のヘリウムガスGHeにより冷却され、酸化物超電導体18が超電導状態となり、そのジュール熱が排除されるとともに、高温側リードからの侵入熱を低減するよう構成される。

【0026】このように構成された電流リードにおいては、酸化物超電導体18の下端部が結合した下部接続金具20の機械的拘束が、柔軟な可撓性導体21、及び下部接続金具20の周囲の隙間20Gによって開放されるので、酸化物超電導体18の両端が固定されることによって生ずる機械的ストレス、及び低温側リード15の各部材の熱収縮差によって酸化物超電導体18に作用する

8

熱応力が排除され、且つ振れ止め材22が酸化物超電導体18を緩やかに支持して電流リードの振動や横置きした際作用する曲げ荷重を緩和するので、低温側リード15の組立加工終了後に酸化物超電導体18に作用すると予想される機械的ストレスの殆ど全てを排除することが可能になる。従って、低温側リードの組立加工に際して酸化物超電導体18に過度の機械的ストレスが加わらないよう、例えば酸化物超電導体18及び可撓性導体21を各金具の凹所に挿入した状態で、各金具を相互に連結する組立治具を取り付け、この状態で各導電接続部の半田付け作業を行うなどの対策により、機械的弱点部がなく信頼性に優れた電流リードを容易に得ることができ

る。

【0027】また、可撓性導体21を銅又は銅合金などの良導電性金属編組材の束、又は良導電性金属箔の束で構成すれば、良好な可撓性が得られるとともに、常温部側からの侵入熱を棒状の酸化物超電導体により遮断し、可撓性導体を設けたことにより増加するジュール熱を最小限に抑制する機能が得られる。更に、可撓性導体を金系超電導線材の束で構成すれば、低温端子を液体ヘリウムで直接冷却するなどの対策により可撓性導体が超電導状態となるので、可撓性導体におけるジュール熱を排除し、液体ヘリウムの消費量を一層低減する機能が得られる。更にまた、可撓性導体を酸化物超電導線材又は酸化物超電導リボン材の束で構成すれば、超電導コイルの冷却に液体窒素を用いた場合にも可撓性導体を超電導状態に保持し、電流リードを低損失化する機能が得られるので、よりランニングコストの低い電流リードを得ることができる。

【0028】図2はこの発明の他の実施例になる酸化物超電導体を用いた電流リードの要部を示す断面図、図3は図2のA-A位置における断面図である。図において、高温側リード2に中間接続金具36を介して連結した低温側リード35は、上端部が中間接続金具36に、下端部が低温端子金具39にそれぞれ導電結合された複数分割された細い棒状の酸化物超電導体38と、この酸化物超電導体38に沿ってU字状に形成された凹溝33を外周側に有する中間支持体32と、中間接続金具36及び低温端子金具39に両端が連結された筒状容器37とを備え、繊維強化プラスチック材などで構成される中間支持体32はその棒状の連結部32Aが中間接続金具36に例えばねじ結合され、中間接続金具36と低温端子金具39との中間に位置するよう強固に支持されるとともに、酸化物超電導体38と中間支持体32とを凹溝33内においてエポキシ樹脂などの接着剤層34により相互に固着するよう構成した点が前述の実施例と異なっている。

【0029】また、低温側リードの組み立て作業は、先ず中間支持体32の連結部32Aを中間接続金具36に形成されたねじ穴にねじ込んで所定位置に固定し、酸化

物超電導体38を凹溝33に挿入、支持した状態でその両端部を中間接続金具36及び低温端子金具39とに半田付けする作業を行い、さらに酸化物超電導体38と中間支持体32を凹溝33内で接着処理した後、筒状容器37を被せてその両端を金具36、39に連結する手順で行われる。

【0030】このように構成された電流リードにおいては、凹溝33を低温のヘリウムガスGHeの通路に利用して酸化物超電導体38が冷却されて超電導状態を維持し、かつ低熱伝導性の酸化物超電導体38及び中間支持体32によって高温側リード2側からの侵入熱が遮断されるので、前述の実施例と同様に液体ヘリウムの気化損失が少ない電流リードが得られる。また、酸化物超電導体38が複数分割されて製造時における寸法誤差が減少したり、両端を拘束することによって酸化物超電導体38に生ずる歪みを低減でき、かつ酸化物超電導体38を中間支持体32で支承した状態で酸化物超電導体38の両端部を金具36、39に半田付けする作業を行えるため、作業中に酸化物超電導体38を損傷するトラブルを防止できるとともに、中間支持体32と酸化物超電導体38とを複数の凹溝33内で接着処理することによって酸化物超電導体38の耐電磁機械力性を強化できるので、組み立て加工時に酸化物超電導体38を損傷することなく、かつ並行する他の電流リードとの間に作用する電磁機械力によって酸化物超電導体38が損傷することの無い、機械的安定性に優れた電流リードを得ることができる。

【0031】図4はこの発明の異なる他の実施例になる酸化物超電導体を用いた電流リードの要部を示す断面図、図5は図4のB-B位置における断面図であり、低温側リード45は中間支持体42のU字状の凹溝43の深さが、酸化物超電導体38の径と同等程度に浅く形成され、この凹溝43に酸化物超電導体38を挿入した状態でその外側を緊縛線材44で緊縛し、中間支持体42と酸化物超電導体38を一体化するよう構成した点が前述の各実施例と異なっており、前述の実施例におけると同様に、組み立て加工時に酸化物超電導体を損傷することなく、かつ並行する他の電流リードとの間に作用する電磁機械力によって酸化物超電導体が損傷することの無い、機械的安定性に優れた電流リードを得ることができる。

【0032】なお、接着剤層34と緊縛線材44とを併用するよう構成されてよく、より機械的安定性に優れた電流リードを得ることができる。図6はこの発明の別の実施例を示す要部断面図であり、図11の酸化物超電導体58の1本を取り出して図示したものであり、図11と同じ部材については共通の符号を付けて詳しい説明を省く。図6において、接続片62C及び92Cは中間接続金具56や低温端子金具59への取付け部621、921を除いた支持部622、922は酸化物超電導体58の軸に対して軸対称の構造をしており、酸化物超電導

体58はこれら接続片62C、92Cに設けられた穴に挿入されて半田付けされ、接続片62C、92Cの外周にはリング部623、923が設けられていてこのリング部623、923で連結棒51を支持、固定した構造である。

【0033】接続片62Cと92Cとは類似の構造なので主に接続片62Cについて更に詳しく説明する。接続片62Cは中間接続金具56にボルト締めで取付けられる取付け部621、酸化物超電導体58が挿入される穴が設けられている支持部622及び支持部622の外周に突出して設けられたリング部623からなり、リング部623に連結棒51が取付けられている。

【0034】図7は図6のC-C断面図であり、図11と同様に4本の酸化物超電導体を図示してある。この図において、接続片62Cの支持部622及びリング部623は酸化物超電導体58に同軸対称になっていて連結棒51はリング部623の周方向に沿って4本が等配に配置されている。リング部623には連結棒51が挿入される穴を設けこの穴に連結棒51を挿入して接着して固定する。

【0035】4本の連結棒51は接続片62Cと92Cとによって1本の酸化物超電導体58と機械的に一体化されておりしかも連結棒51は酸化物超電導体58の外径側にあるので曲げ力などの外力がかかったときに連結棒51がこの外力をより多く負担して酸化物超電導体58にかかる曲げ応力が低減することから、電流リードの機械的強度が向上する。なお、酸化物超電導体58の接続片62C、92Cとの接続構造は、図11、図12とは異なり酸化物超電導体58を接続片62C、92Cに設けられた穴に挿入する構成を採用してあるが、軸対称構造にこだわらず図11、図12と同様の構成を採用することもできる。

【0036】図8は図7とは異なる実施例を示す部7と同じ位置の断面図である。この図の図7との違いは連結棒51の代わりに連結筒52を使用したものである。これに合わせて接続片63のリング部633には同心状の溝を設け、この溝に連結筒52を挿入し接着することによって固定する。この構成はいわば図7の場合で連結棒51の本数を多くした場合の極限と解釈することができる。

【0037】連結棒51や連結筒52などの連結材は単に機械的強度が要求されるだけではなく侵入熱を低減するために低熱伝導性も要求される。このような連結材に適したのものとしては、繊維強化複合材、ステンレス鋼などがある。連結材として必要な強度を確保するには連結棒51の場合、連結棒51の太さとその本数を適切な値にする。また連結筒52の場合にはその厚み寸法と直径を適切な値にする。なお、連結筒52の場合、酸化物超電導体58は連結筒52によって遮蔽された形になって冷却効果が悪くなるので、連結筒52に貫通孔を設ける

などして連結筒52の内部にも冷媒であるヘリウムガスが流れるようにする。

【0038】連結棒51、連結筒52などの連結材としてステンレス鋼を使用した場合、ステンレス鋼は導電材なので万一酸化物超電導体58がクエンチを起こして常電導状態になったときに連結材に電流が転流して酸化物超電導体58の損傷を防ぐ効果を期待することができる。

【0039】

【発明の効果】この発明は前述のように、低温側リードの構成を棒状の酸化物超電導体の低温側に直列に可撓性導体を連結した構造とし、かつ棒状の酸化物超電導体に振れ止め材を配するよう構成した。その結果、棒状の酸化物超電導体に作用する機械的ストレス及び熱応力を可撓性導体が吸収して緩和するので、棒状の酸化物超電導体を接続金具を介して筒状容器に固定した従来の電流リードで問題となった棒状の酸化物超電導体の損傷を回避することが可能となり、機械的、熱的に安定で信頼性の高い低温側リードを備えた電流リードを提供することができる。また、可撓性導体を設けたことにより増加するジュール熱は、可撓性導体に金属系超電導材の束あるいは酸化物超電導材の束などを用いることにより阻止できるので、高価な液体ヘリウムの消費量が少なくランニングコストの低い酸化物超電導体を用いた電流リードを提供できるとともに、信頼性の向上によって分解修理の必要も無くなるので、従来分解修理に要した費用及び時間が不要になるという利点も得られる。

【0040】一方、酸化物超電導体を複数分割し、中間接続金具に支持された中間支持体の凹溝内に接着するか、あるいは緊縛線材で緊縛して一体化するよう構成した。その結果、互いに並行する電流リード間の電流磁界によって酸化物超電導体に作用する電磁機械力を中間支持体が吸収し、酸化物超電導体に加わる曲げ応力を軽減するとともに、低温側リードの組み立て作業時に酸化物超電導体に加わる機械的ストレスをも軽減できるので、中間支持体に低熱伝導体を用いることにより、熱的、機械的に安定で耐電磁機械力性にも優れた低温側リードを備えた電流リードを提供することができる。

【0041】また、棒状の酸化物超電導体の両端に接続片を取付けこれを介して中間接続金具と低温端子金具とにそれぞれ取付ける構成を採用した電流リードにおいて、中間接続金具に取付ける接続片と下部接続金具に取付ける接続片との間を橋渡しする連結材を設けることによって、電流リードに外力が加わったときに連結材が力を負担して酸化物超電導体に生ずる応力が低減することから電流リードの機械的耐力が向上するという効果が得られる。また、連結材は、酸化物超電導体と同軸の筒状の連結筒、又は酸化物超電導体の周りに配置した所定の本数の棒状の連結棒のいずれでも同様の効果を得ること

ができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例になる酸化物超電導体を用いた電流リードの要部を示す断面図

【図2】この発明の他の実施例になる酸化物超電導体を用いた電流リードの要部を示す断面図

【図3】図2のA-A位置における断面図

【図4】この発明の異なる他の実施例になる酸化物超電導体を用いた電流リードの要部を示す断面図

【図5】図4のB-B位置における断面図

【図6】この発明の異なる他の実施例になる酸化物超電導体を用いた電流リードの要部を示す断面図

【図7】図6のC-C断面図

【図8】図7とは異なる実施例を示す図6のC-C断面図

【図9】超電導磁石装置の電流リードの従来構造を簡略化して示す側面図

【図10】図9の要部の内部構造を示す拡大断面図

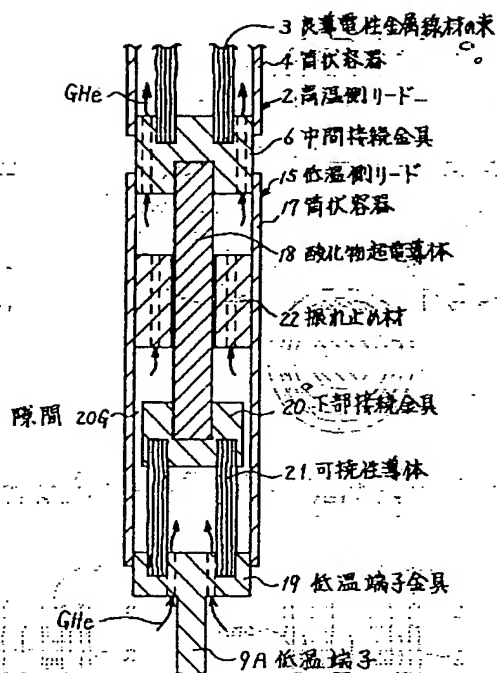
【図11】複数本の酸化物超電導体を使用した従来の電流リードの要部断面図

【図12】図11のD-D断面図

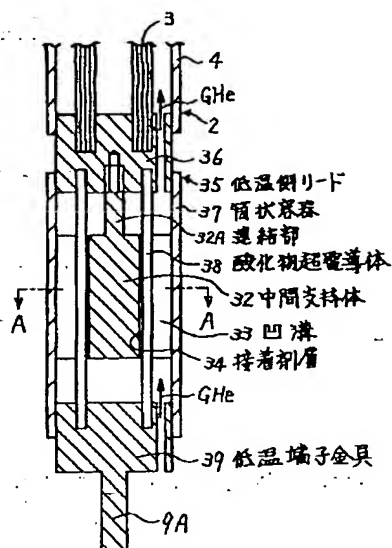
【符号の説明】

- 1 電流リード
- 2 高温側リード
- 2A 常温端子
- 3 良導電性金属線材の束
- 4 筒状容器
- 5, 15, 35, 45, 55 低温側リード
- 6, 36, 56 中間接続金具
- 7, 17, 37 筒状容器
- 8, 18, 38, 58 酸化物超電導体
- 9, 19, 39, 59 低温端子金具
- 9A 低温端子
- 10 超電導コイル
- 20 下部接続金具
- 20G 隙間
- 21 可撓性導体
- 22 振れ止め材
- 32, 42 中間支持体
- 32A 連結部
- 33, 43 凹溝
- 34 接着剤層
- 44 緊縛線材
- 51 連結棒(連結材)
- 52 連結筒(連結材)
- 61, 91 突出部
- 62, 92, 62C, 92C 接続片
- He 液体ヘリウム
- GHe ヘリウムガス

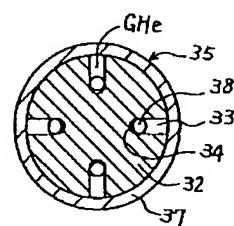
【図1】



【図2】

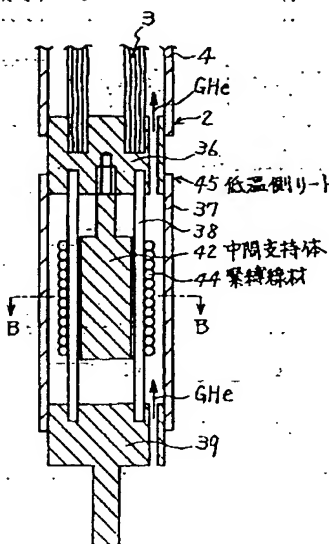


【図3】

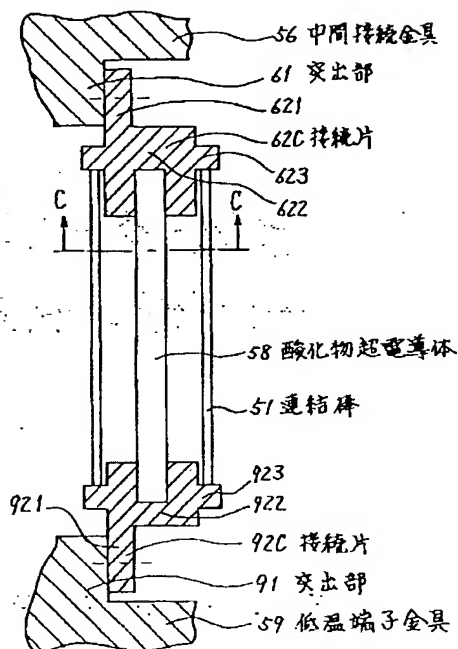
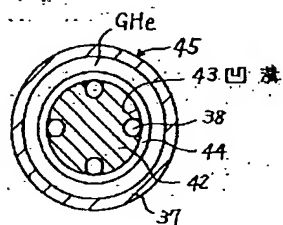


【図6】

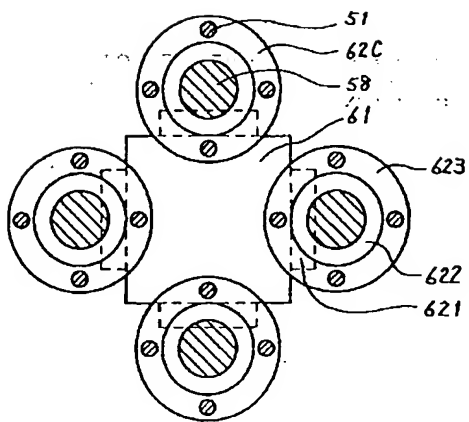
【図4】



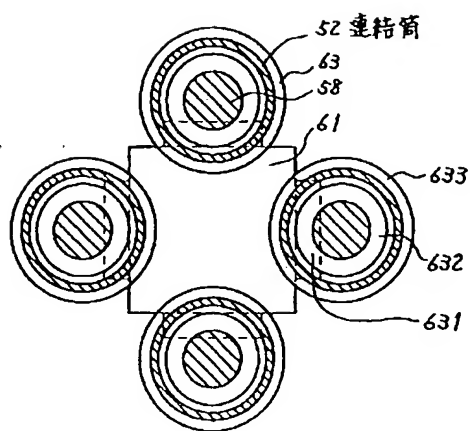
【図5】



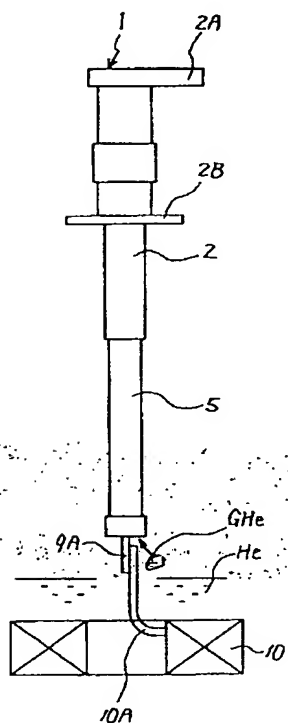
【図7】



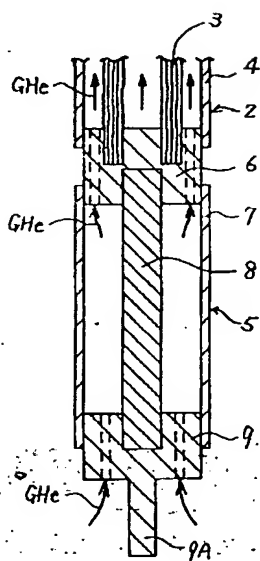
【図8】



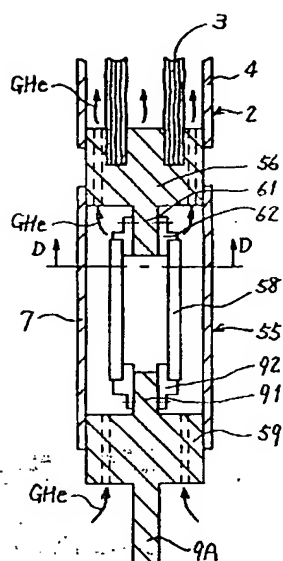
【図9】



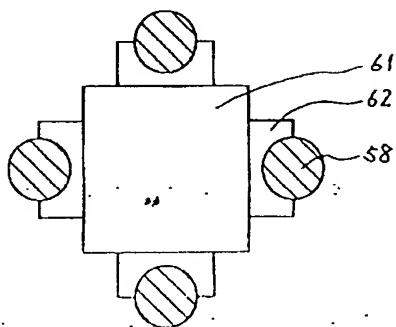
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

H01L 39/00

C 9276-4M

H01F 5/08

ZAA E

ZAA B